

## O przewodnictwie cieplnym, ocieplaniu domów i o aerożelu

Przed nadchodzącym latem kempingowicze zaopatrują się w przenośne pojemniki, rodzaj lodówek, utrzymujące w swym wnętrzu niską temperaturę. Chodzi o utrzymanie różnicy temperatur pomiędzy wnętrzem pojemnika a otoczeniem. Podobną technikę stosuje się do ocieplania domów, okładając elewację styropianem, który źle przewodzi ciepło.

W przyrodzie naturalne procesy „same z siebie” zachodzą w taki sposób, że temperatura dąży do wyrównania, tzn. do tego, by była wszędzie taka sama. Mówiąc dokładniej, jeśli mamy dwa ciała (lub jakieś części ciał) o różnej temperaturze, to między tymi ciałami następuje przepływ ciepła, czyli energii, od ciała cieplejszego do chłodniejszego. Samorzutny proces trwa dopóty, dopóki temperatura się nie wyrówna.

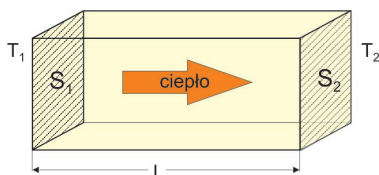
Ten przekaz ciepła może odbywać się na trzy sposoby, przez:

- przewodnictwo cieplne – i tym się bliżej zajmujemy,
- konwekcję, gdy mamy do czynienia z cieczami lub gazami i możliwe jest unoszenie masy nagrzanej cieczy lub gazu,
- promieniowanie elektromagnetyczne, zawsze obecne, ale grające największą rolę dopiero przy dużych różnicach temperatur (np. transport energii ze Słońca na Ziemię).

Proces przekazu ciepła przez przewodnictwo cieplne, możemy opisać prostym wzorem matematycznym, przyjmując pewne założenia. Dla skupienia uwagi możemy myśleć o przekazie ciepła przez ścianę o pewnej grubości  $L$  i powierzchni  $S$ .

Niech jedna powierzchnia ma temperaturę  $T_1$ , a druga temperaturę  $T_2$  i np.  $T_1 > T_2$ . Ilość ciepła  $\Delta Q$ , przepływająca od  $S_1$  do  $S_2$  w jakimś czasie  $\Delta t$ , to:

$$\Delta Q = k \frac{S}{L} \Delta t \Delta T$$



Z powyższego wzoru wynika fakt, że ilość ciepła jest wprost proporcjonalna do różnicy temperatur  $\Delta T$ , czyli im większa różnica temperatur, tym większy przekaz energii. Jest też proporcjonalność do wielkości powierzchni  $S$ , przez którą ciepło wypływa; im większa powierzchnia tym więcej ciepła „ma okazję” uciec. Ilość ciepła jest odwrotnie proporcjonalna do odległości  $L$ , jaką ciepło ma przebyć (im grubsza ściana, tym wolniej ucieka ciepło). Im dłużej trwa proces ( $\Delta t$  większe), tym więcej ciepła przepłynie.

W powyższym rozważaniu zasadniczym założeniem jest stałość współczynnika proporcjonalności  $k$  w danym materiale, co oznacza, że  $k$  nie zależy od temperatury (łatwo sprawdzić, że  $k$  ma wymiar  $[W/(m \cdot K)]$ , lub  $[J/(s \cdot m \cdot K)]$ ).

W przypadkach, w których zależy nam na dobrej izolacji, czyli jak najwolniejszej ucieczce energii, szukamy materiałów o małym współczynniku  $k$ .

Możemy mieć na myśli dom. W naszym klimacie chodzi nam o utrzymanie w nim zimą stałej temperatury. Dom musi być dogrzewany dokładnie z taką mocą, z jaką następuje ucieczka ciepła (patrz *Foton* 104, artykuł P. Białasa).

Materiały o dobrych izolacyjnych właściwościach (gazy) mają małe  $k$ , a dobre przewodniki ciepła (np. metale) mają duże  $k$ .

Oto przykładowe wartości współczynnika  $k$  popularnych materiałów budowlanych:

Materiał	$k$ [W/(m·K)]	Materiał	$k$ [W/(m·K)]
Żelbet	1,70	Styropian	0,040–0,045
Mur z cegły ceramicznej pełnej	0,77	Wełna mineralna granulowana	0,050
Płyty i bloki z gipsu	0,35	Tynk lub gładź cementowa	1,00
Drewno sosnowe lub świerkowe wzdłuż włókien w poprzek włókien	0,30 0,16	Płyty gipsowo-kartonowe	0,23
Papa asfaltowa	0,18	Stal budowlana	58,00
Szkoło okienne	0,80	Żeliwo	50,00
Pleksiglas	0,19	Miedź	370,00

Budowniczowie posługują się także współczynnikiem oporu cieplnego  $R$ . Dla każdej warstwy materiału można wyznaczyć ten współczynnik, korzystając ze wzoru:  $R = L/k$  ( $L$  – grubość warstwy).

Zauważmy, że substancje o mniejszej gęstości są gorszymi przewodnikami ciepła. Złe przewodnictwo gazów wykorzystuje się np. do konstrukcji podwójnych szyb w oknach. Przestrzeń pomiędzy szybami wypełniana jest gazem. Często zamiast cegieł używa się pustaków, a jako materiału izolacyjnego ścian – styropianu, który zawiera dużo powietrza.

W chwili obecnej ocieplam mój dom. Na paczkach zakupionego styropianu znalazłam tabele zawierające informację o oporze cieplnym płyt styropianowych różnej grubości (to dla wygody użytkowników, ponieważ wystarczyłoby podać  $k$ ). Na przykład:

Grubość płyty $L$ [mm]	Opór cieplny $R$ [m <sup>2</sup> K/W]
20	0,50
50	1,25
100	2,50
120	3,0

Dla wszystkich tych płyt  $k = 0,04$ , czyli bardzo mało!

W przypadku, gdy ścianę izolującą pogrubimy dwukrotnie, opór cieplny wzrośnie także dwukrotnie. Gdy ściana składa się z wielu warstw, opór cieplny jest sumą oporów cieplnych kolejnych warstw. Łatwo go więc obliczyć.

Dla przykładu rozważmy szybkość ucieczki ciepła  $\Delta Q/\Delta t$  przez ścianę o powierzchni  $3 \times 5 \text{ m}^2$  wykonaną z cegły ceramicznej o grubości 0,3 m. Dla tego materiału  $R = 0,4 \text{ m}^2\text{K/W}$

$$\Delta Q/\Delta t = 1/R \times \Delta T \times S.$$

Przyjmijmy  $\Delta T = 30 \text{ K}$  (np. we wnętrzu  $T = 20^\circ\text{C}$ , na zewnątrz  $T = -10^\circ\text{C}$ ). Przy tych założeniach  $\Delta Q/\Delta t = 1125 \text{ W}$ .

Porównajmy tę wartość z obliczoną ucieczką ciepła przez ścianę ocieploną styropianem o grubości zaledwie 2 cm. Dla tej warstwy styropianu  $R = 0,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ , czyli więcej niż dla grubej ceglanej ściany. Opór termiczny ocieplonej ściany jest sumą oporów warstwy cegły i warstwy styropianu i wynosi

$$0,4 + 0,5 = 0,9 \text{ m}^2\text{K/W}.$$

Widzimy analogię do oporu elektrycznego przy połączeniu szeregowym.

Im większy opór termiczny  $R$ , tym mniejsza strata ciepła i dla ocieplonej ściany wynosi tylko 500 W.

Podany wzór oraz zebrane dane dotyczące oporów cieplnych materiałów budowlanych (w tym okien), z których dom jest zbudowany, a także pomiary powierzchni domu i grubości ścian, pozwalają na obliczanie traconej w zimie energii cieplnej. Można wtedy zaplanować moc pieca CO ogrzewającego dom oraz oszacować ekonomiczność ocieplenia domu. Oczywiście, musimy przyjąć rozsądne założenia dotyczące temperatury panującej w zimie.

Jeśli materiały budowlane nie mają małego współczynnika  $k$ , efekt dobrej izolacji trzeba kompensować grubymi murami. Dawniej tak budowano. Stare domy, jak to mówimy, dobrze „trzymały” ciepło, a w lecie chroniły przed upałem. Przy dzisiejszych technologiach znacznie lepsze własności można osiągnąć stosując inne materiały izolacyjne. Stale trwają poszukiwania coraz to lepszych.

Nie możemy zapominać, że wzór, z którego skorzystaliśmy, opisuje straty ciepłe tylko wówczas, gdy zaniedbamy konwekcję i promieniowanie cieplne.

Każdy wie, iż gdy wieje, dom chłodzi się szybciej. Energia jest unoszona z powietrzem. Wiedzą o tym meteorolodzy i oprócz temperatury rzeczywistej podają tzw. temperaturę odczuwalną. Ucieczka ciepła z naszego ciała jest taka, jak gdyby podczas silnego wiatru występowała większa różnica temperatur (otoczenie wydaje się mieć niższą temperaturę niż ta wskazywana przez termometr).

Bilans cieplny w domu możemy poprawić instalując na nasłonecznionych powierzchniach (np. na dachu) tak zwane kolektory cieplne; zużywamy wówczas mniej energii gazowej lub elektrycznej.

Wspomniany już styropian nie jest idealny, ma wprawdzie małą gęstość, ale jest bardzo kruchy i niszczy się przy ściskaniu. Przede wszystkim jest łatwopalny.

Poszukiwanie coraz to lepszych materiałów izolacyjnych doprowadziło do wynalezienia tzw. aerożeli. Odkryto je dość dawno (zabawnie – jako rodzaj zakrzepniętego, nadmuchiwanego dżemu), lecz powrócono do pomysłu ich wykorzystania stosunkowo niedawno.

### Aerożele

Jak podaje Wikipedia, **aerożel** to materiał będący rodzajem sztywnej piany o wyjątkowo małej gęstości. Na jego masę składa się w 90–99,8% powietrze, resztę stanowi porowaty materiał tworzący sztywną strukturę. Większość aerożeli jest zbudowana z krzemionki.

Aerożele są obecnie „najlżejszymi” stałymi substancjami, mają niewiarygodnie małą gęstość, rzędu  $1,9\text{--}150\text{ mg/cm}^3$ , a zatem niewiele większą od gęstości powietrza, która wynosi  $1,2\text{ mg/cm}^3$ . Aerożele są też obecnie materiałami o najmniejszym dla ciał stałych współczynniku przewodnictwa ciepła  $k$ . Mogą znaleźć w przyszłości zastosowanie w budownictwie, ponieważ mimo pozornie delikatnej budowy, wiele aerożeli ma wyjątkowo dobre własności mechaniczne. Są odporne na ściskanie i rozciąganie (w przeciwieństwie do styropianu). Wytrzymują nacisk pochodzący od ciężaru rzędu 2000 razy ich własnego ciężaru na gładką powierzchnię. Są jednak bardzo kruche, nieodporne na uderzenia i nieodporne na skreślanie i ścinanie. W chwili obecnej są także bardzo drogie.

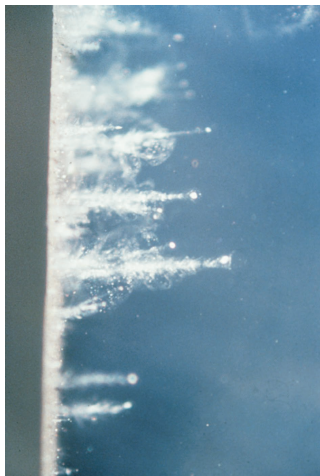


Aerożel z wyglądu jak nierzeczywisty obraz holograficzny, w dotyku przypomina styropian

Aerożele krzemionkowe są stabilne do temperatury topnienia krzemionki, czyli do ok. 1200°C. To może stanowić ich zaletę w budownictwie ze względu na przeciwpożarowe własności.

Wymienione cechy powodują, że aerożele stają się odpowiednim materiałem przy budowie statków kosmicznych. Stosuje się je także jako warstwę izolacyjną w skafandrach kosmonautów. Zaczynają być wykorzystywane w lotnictwie jako wypełnienia termoizolacyjne w samolotach. Świat mody podejmuje próby stosowania aerożeli do produkcji odzieży codziennego użytku. Podobno jednak taka odzież jest za ciepła no i na razie zbyt droga.

Ponieważ aerożele z otwartymi porami posiadają zdolność kumulowania drobnych pyłów poruszających się nawet z prędkością kilkanaście razy większą od pocisku wystrzelonego z pistoletu, zainteresowali się nimi także badacze warkoczy komet. Ta zdolność została wykorzystania przez NASA w projekcie o nazwie *Stardust*, w którym specjalny kolektor z aerożelu wyłapywał drobinke ziarenek pyłu kosmicznego, aby zbadać skład warkocza komety *Wild 2*.



Drobne cząstki wstrzelone z dużą prędkością w aerożel zostawiają w nim widoczne ślady



2,5 kg cegła bez trudu spoczywa na aerożelowej kostce o masie 2 g



Świeży kwiat na kawałku aerożelu podgrzewanym palnikiem Bunsena nie doznaje uszczerbku – tak fantastyczne własności izolacyjne ma aerożel

Czytelników chcących się dowiedzieć jak wygląda produkcja aerożeli, odsyłamy do Wikipedii.

Obrazki aerożeli użytych w projekcie *Stardust* NASA: <http://stardust.jpl.nasa.gov/photo/aerogel.html>

Z.G-M